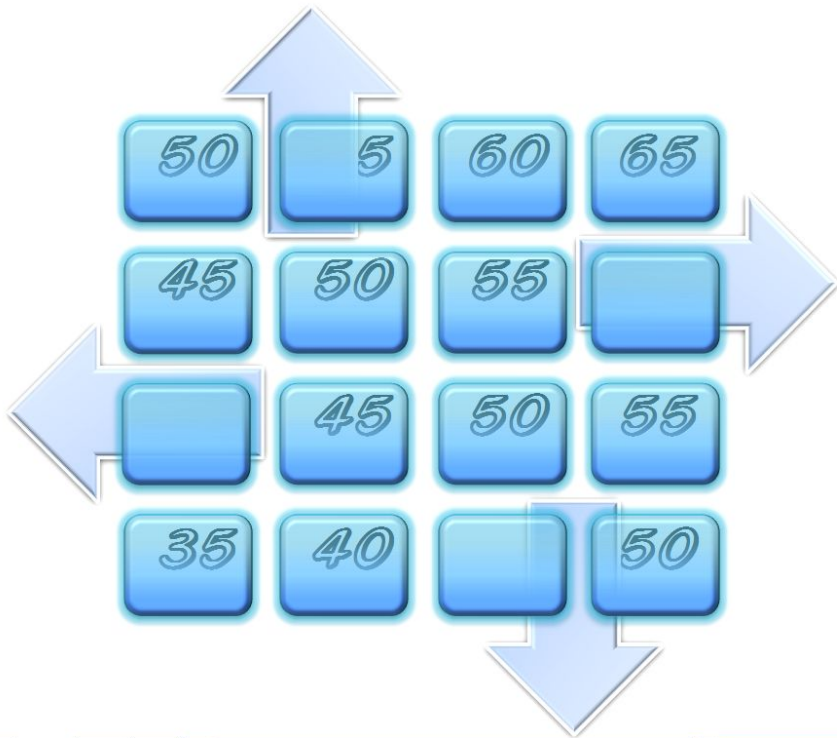


Гидродинамика флюидных систем и моделирование гидродинамических процессов



Лекция № 4
Количественная оценка
естественных
фильтрационных потоков

Кафедра гидрогеологии, инженерной геологии и
гидрогеоэкологии ИПР ТПУ
доцент Кузеванов К.И.

Количественная оценка движения подземных вод в естественных условиях безнапорного водоносного горизонта

Расход фильтрационного потока

Единичный расход фильтрационного потока

Метод фрагментов

Вывод приближенного уравнения Каменского Г.Н. для единичного расхода фильтрационного потока в безнапорном водоносном горизонте на наклонном водоупоре

Уравнение депрессионной кривой безнапорного водоносного горизонта на наклонном водоупоре (без вывода)

Уравнения Павловского Н.Н. для безнапорных водоносных горизонтов на наклонном водоупоре (функции Павловского Н.Н.)

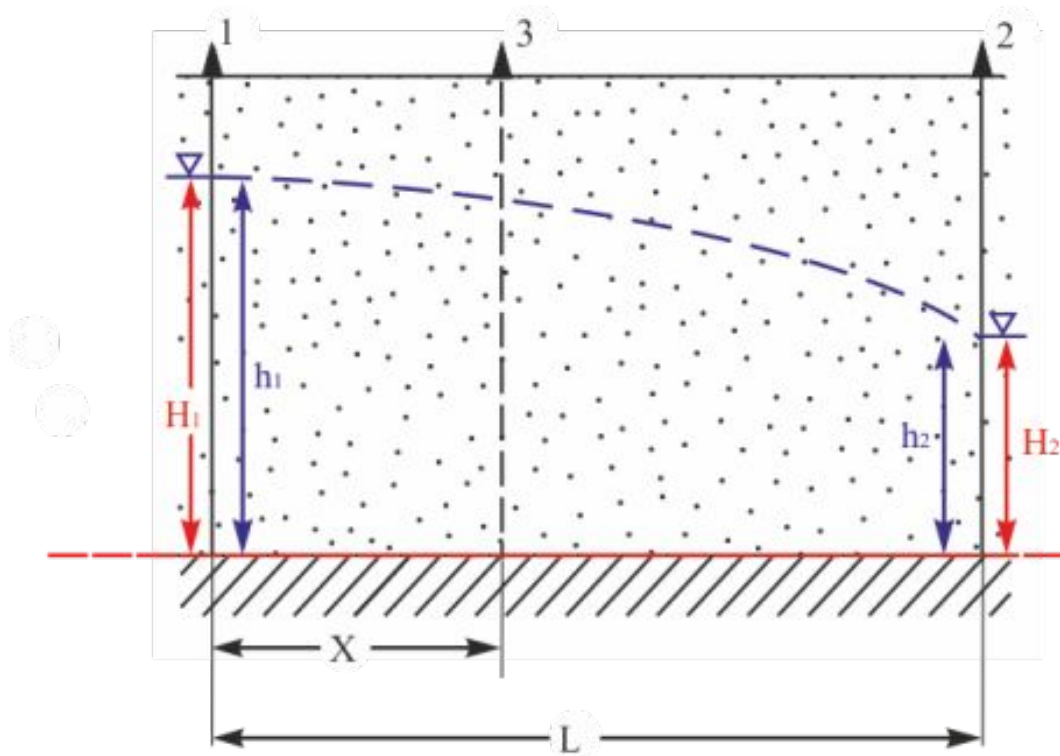
Вывод уравнения единичного расхода фильтрационного потока в безнапорном водоносном горизонте на горизонтальном водоупоре

Вывод уравнения депрессионной кривой фильтрационного потока в безнапорном водоносном горизонте на горизонтальном водоупоре

Учёт инфильтрационного питания безнапорного водоносного горизонта через среднегодовую мощность

Безнапорный водоносный горизонт на горизонтальном водоупоре

Расчётная схема безнапорного водоносного горизонта на горизонтальном водоупоре



$$q = k \frac{(h_1^2 - h_2^2)}{2L};$$

$$h_x = \sqrt{h_1^2 - \frac{x}{L} (h_1^2 - h_2^2)};$$

Равномерные и неравномерные фильтрационные
потоки

Равномерным называется такой фильтрационный поток, параметры которого не изменяются в пространстве

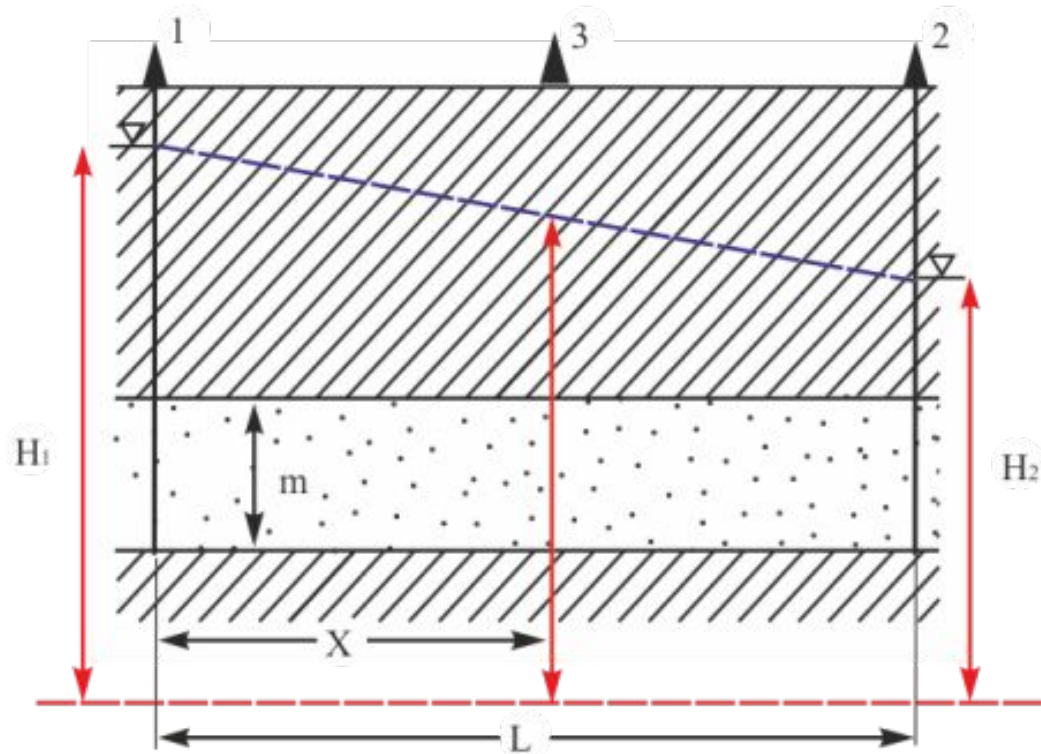
Параметры потока:

Гидравлический уклон (I)

Скорость фильтрации (v)

Естественные фильтрационные потоки

Покажем каким является однородный напорный водоносный горизонт постоянной мощности

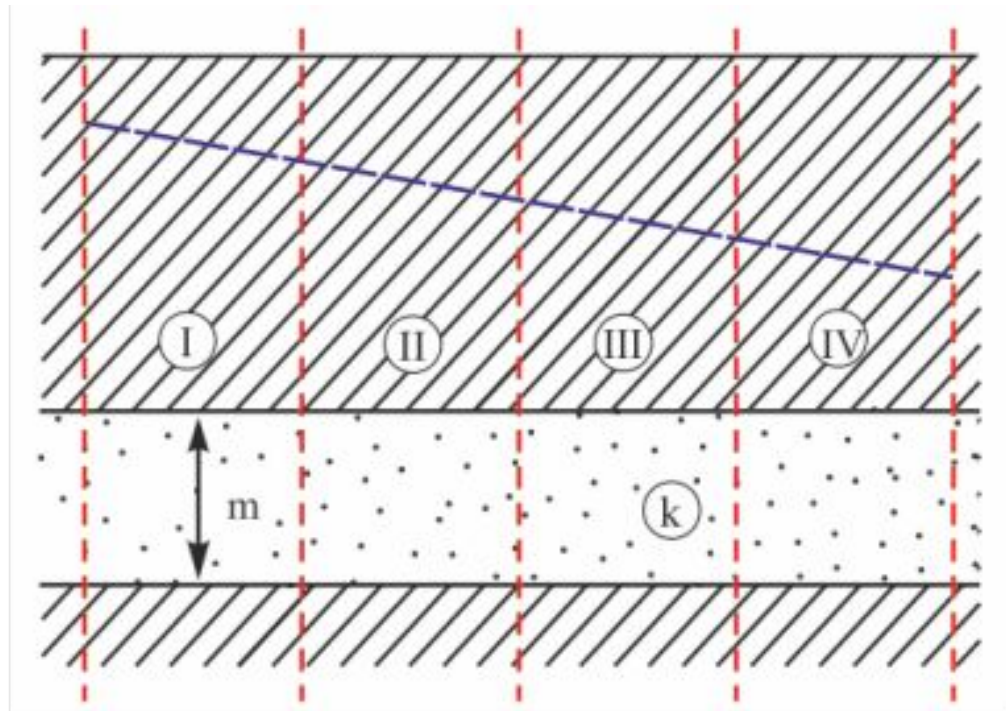


Естественные фильтрационные потоки

Проанализируем изменение параметров однородного фильтрационного потока напорного водоносного горизонта постоянной мощности в пространстве

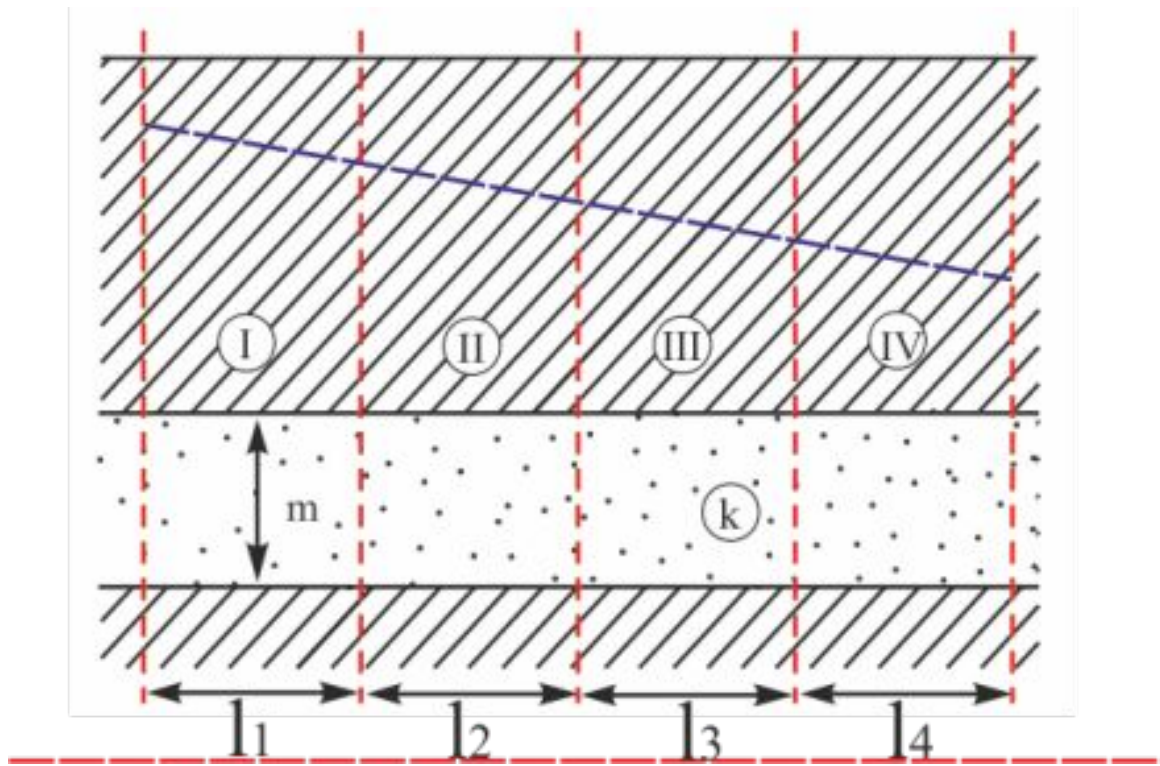
Для анализа разделим область фильтрации напорного водоносного горизонта на одинаковые по длине фрагменты

Естественные фильтрационные потоки



Сравним между собой выделенные фрагменты (I, II, III, IV) напорного водоносного горизонта

Естественные фильтрационные потоки



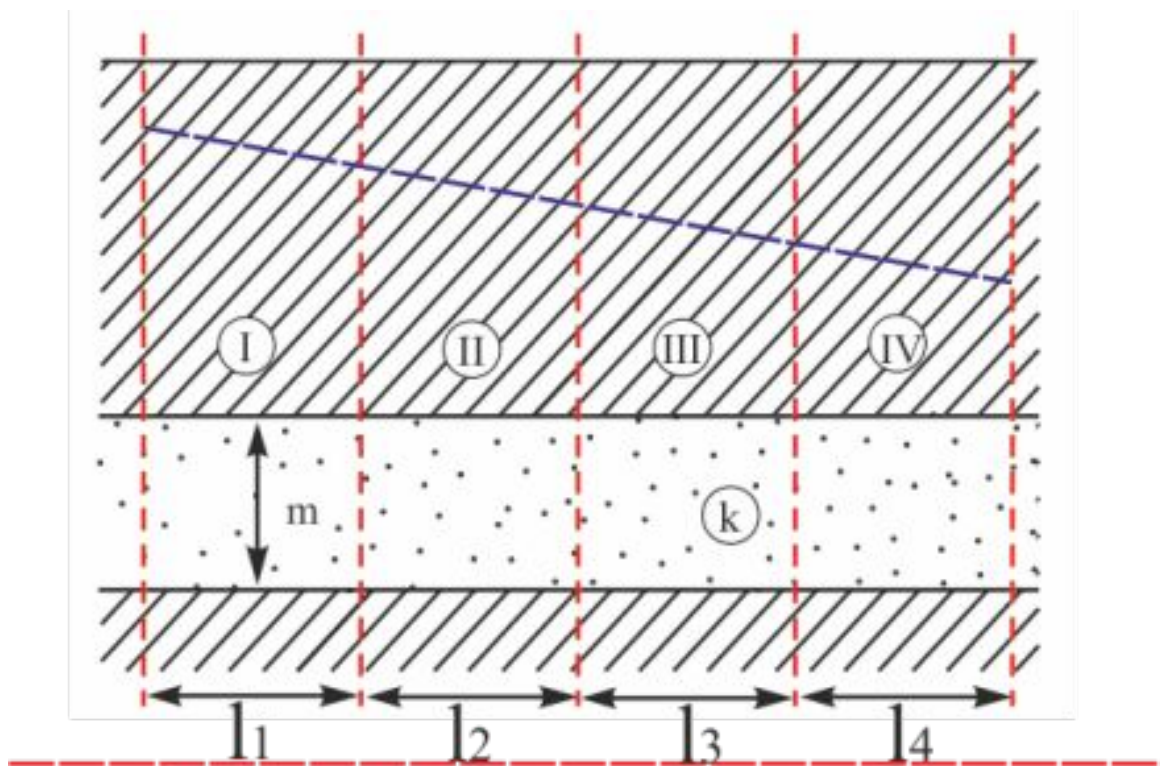
$$m_1 = m_2 = m_3 = m_4$$

$$k_1 = k_2 = k_3 = k_4$$

$$l_1 = l_2 = l_3 = l_4$$

Мощности водоносного горизонта, коэффициенты фильтрации и размеры выделенных фрагментов одинаковы в разных точках области фильтрации

Естественные фильтрационные потоки



$$m_1 = m_2 = m_3 = m_4$$

$$k_1 = k_2 = k_3 = k_4$$

$$l_1 = l_2 = l_3 = l_4$$

Сравнение показывает равенство мощности и коэффициента фильтрации в границах одинаковых по длине фрагментов (I, II, III, IV) напорного водоносного горизонта

Обратимся к анализу величины единичного расхода в выделенных фрагментах (I, II, III, IV) напорного водоносного горизонта

В уравнении единичного расхода напорного водоносного горизонта

$$q = km \frac{H_1 - H_2}{L};$$

отношение:

$$\Phi = \frac{L}{km};$$

носит название величины фильтрационного сопротивления

Естественные фильтрационные потоки

С учётом величины фильтрационного сопротивления уравнение единичного расхода можно переписать иначе:

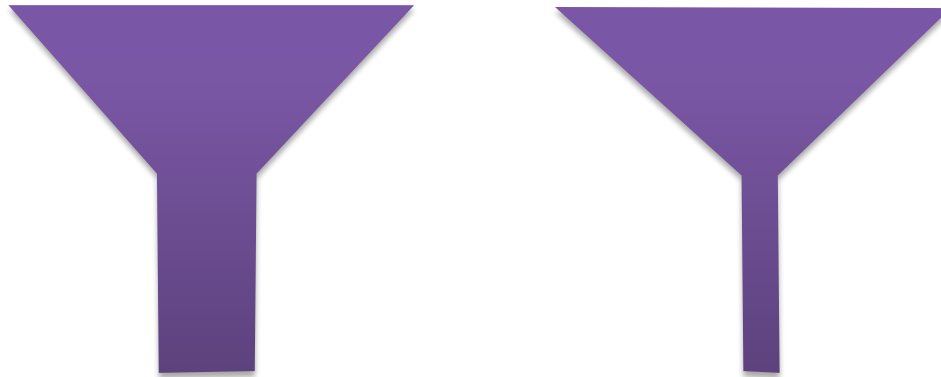
$$q = \frac{(H_1 - H_2)}{\Phi};$$

Такое представление фундаментальной зависимости позволяет наглядно связать величину фильтрационного сопротивления с разницей напоров в области фильтрации

Естественные фильтрационные потоки

Можно утверждать, что в области фильтрации падение напора затрачивается на преодоление фильтрационного сопротивления, причём, чем больше величина фильтрационного сопротивления, тем большая разность напоров затрачивается на преодоление этого сопротивления

Естественные фильтрационные потоки

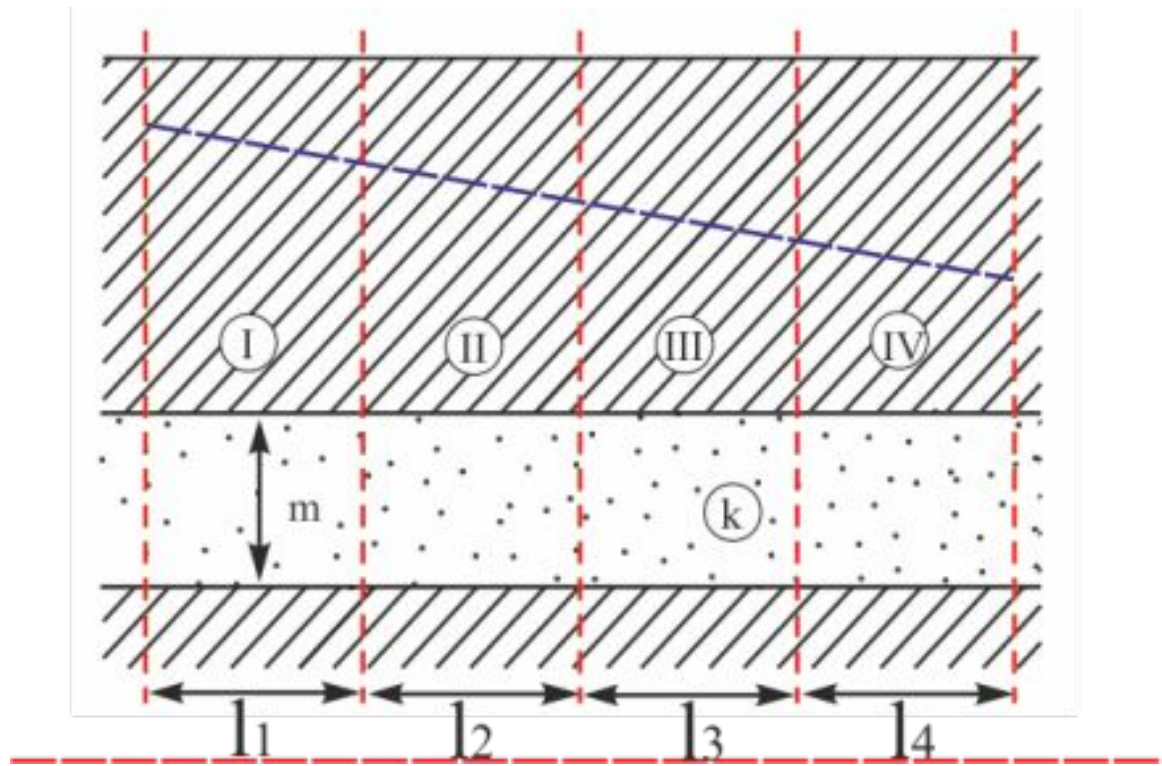


Для наглядности можно представить, что сопротивление потоку обратно пропорционально его сечению.

На рисунке сливное отверстие воронки справа обладает большим сопротивлением потоку, чем сливное отверстие воронки слева

Это означает, что для обеспечения одинаковых расходов правая воронка требует дополнительного давления сверху

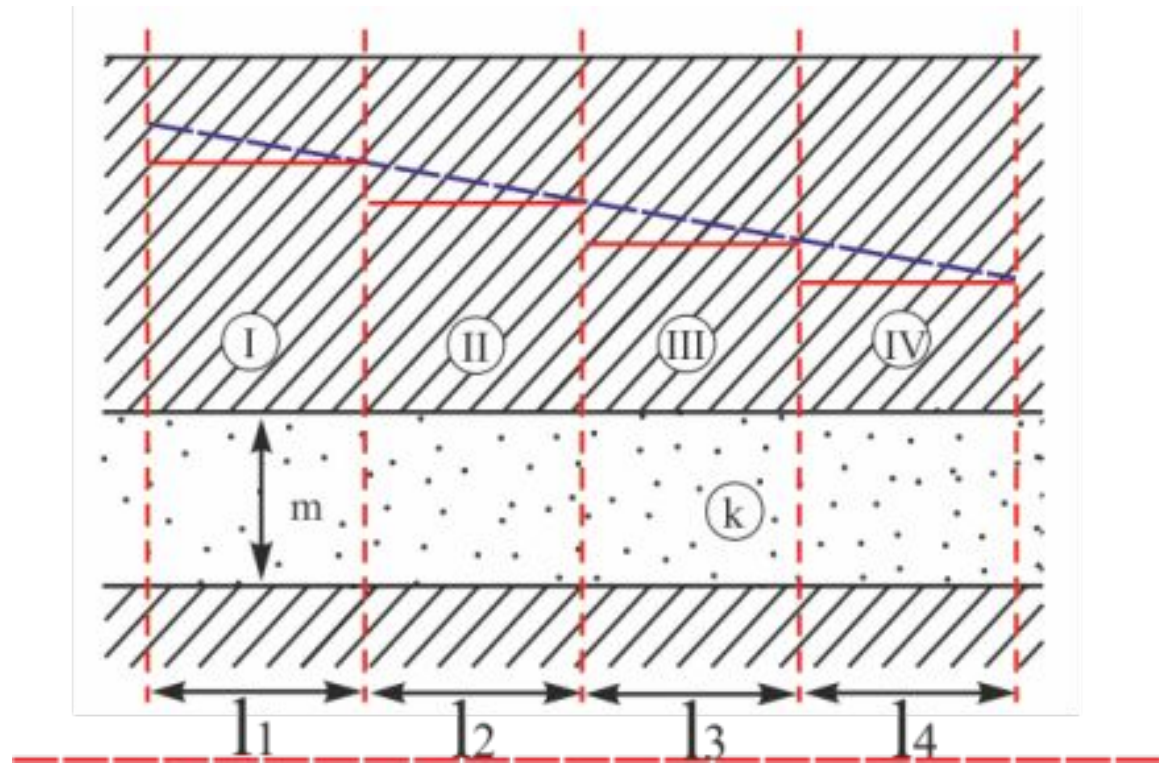
Естественные фильтрационные потоки



$$\frac{l_1}{k_1 m_1} = \frac{l_2}{k_2 m_2} = \frac{l_3}{k_3 m_3} = \frac{l_4}{k_4 m_4};$$

Сравнение показывает равенство фильтрационных сопротивлений фрагментов (I, II, III, IV) напорного водоносного горизонта

Естественные фильтрационные потоки



На преодоление одинаковых фильтрационных сопротивлений затрачиваются одинаковые разности напоров в пределах каждого из выделенных фрагментов:

$$dH_I = dH_{II} = dH_{III} = dH_{IV}$$

на рисунке малые катеты прямоугольных треугольников равны

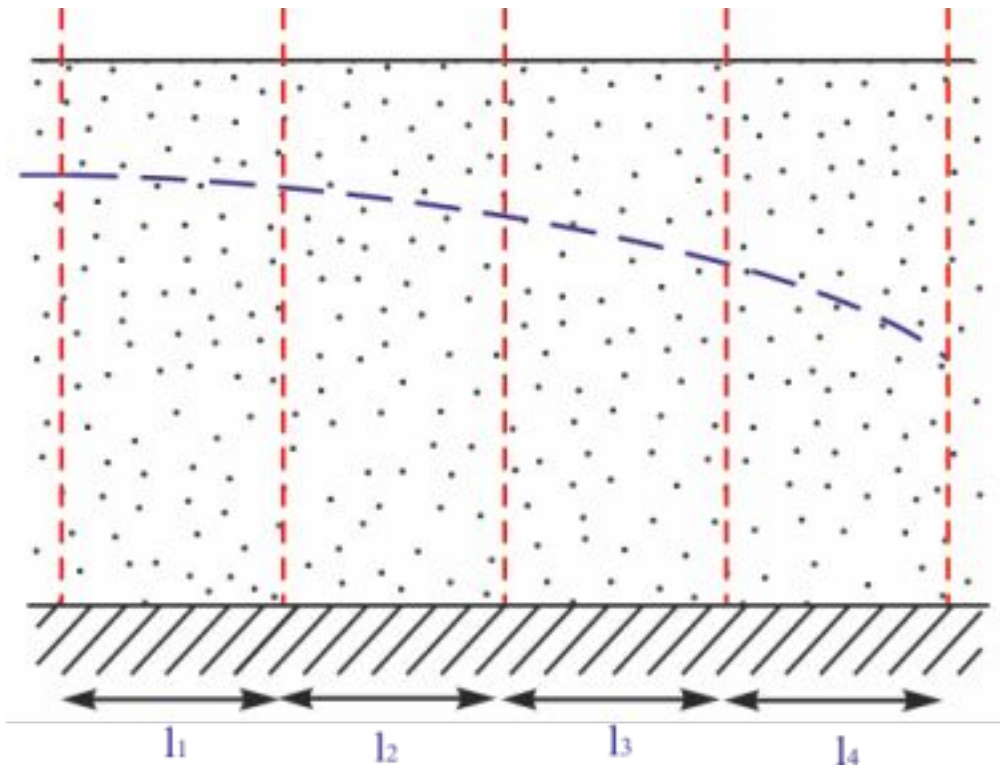
Естественные фильтрационные потоки

Напорный водоносный горизонт постоянной мощности и однородный по фильтрационным свойствам обладает равномерным фильтрационным потоком, как следствие депрессионная кривая в этом случае должна иметь форму прямой линии

Повторим анализ для однородного безнапорного водоносного горизонта на горизонтальном водоупоре

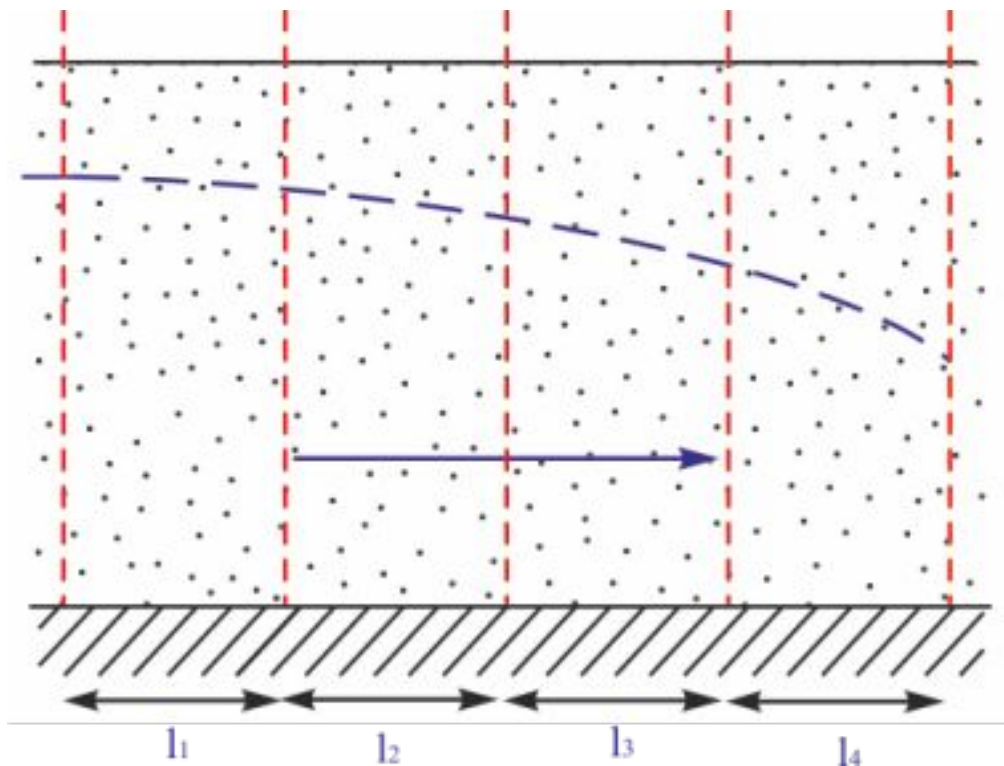
Естественные фильтрационные потоки

Для анализа разделим область фильтрации безнапорного водоносного горизонта на одинаковые по длине фрагменты



Естественные фильтрационные потоки

Вспомним, что по закону Дарси скорость фильтрации связывается с изменением (падением напора). Это значит, что по направлению фильтрации напор должен уменьшаться, затрачиваясь (как энергия) на преодоление фильтрационного сопротивления (связанного с выполнением механической работы)

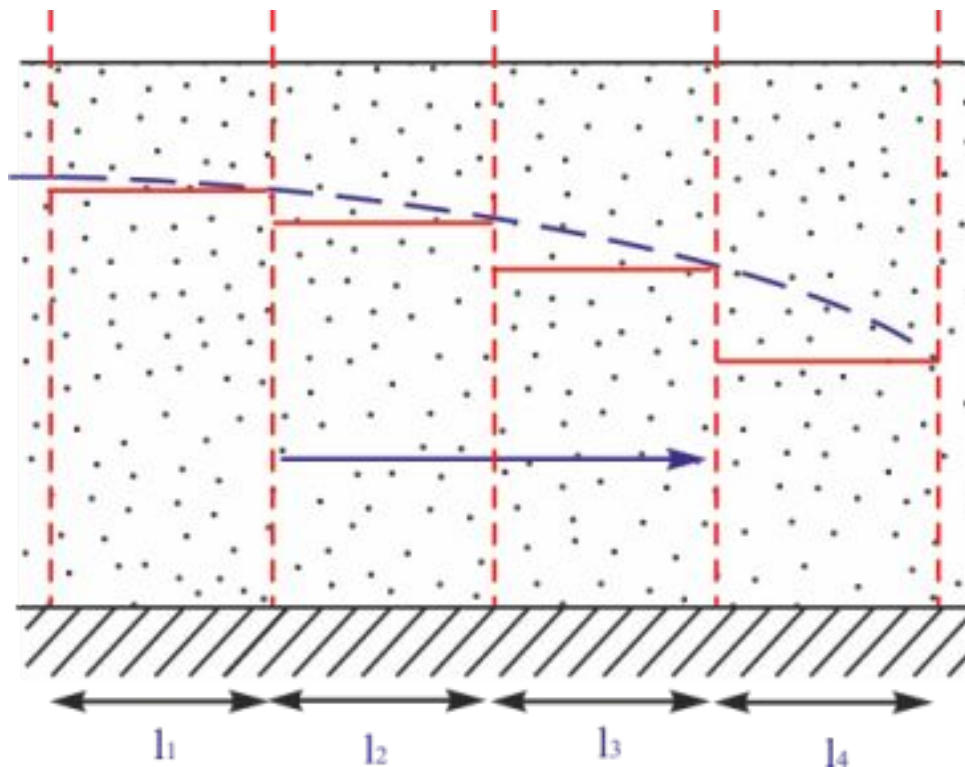


В безнапорном потоке падение напора связано с уменьшением мощности водоносного горизонта, а следовательно, с ростом фильтрационного сопротивления по потоку:

$$\Phi_1 < \Phi_2 < \Phi_3 < \Phi_4$$

Естественные фильтрационные потоки

На преодоление большей величины фильтрационного сопротивления затрачивается большая разность напоров



Малые катеты криволинейных прямоугольных треугольников увеличиваются по направлению фильтрационного потока в безнапорном водоносном горизонте на горизонтальном водопоре, а следовательно, растут затраты напора на преодоление увеличивающихся фильтрационных сопротивлений по направлению потока:

$$dH_1 < dH_2 < dH_3 < dH_4$$

Естественные фильтрационные потоки

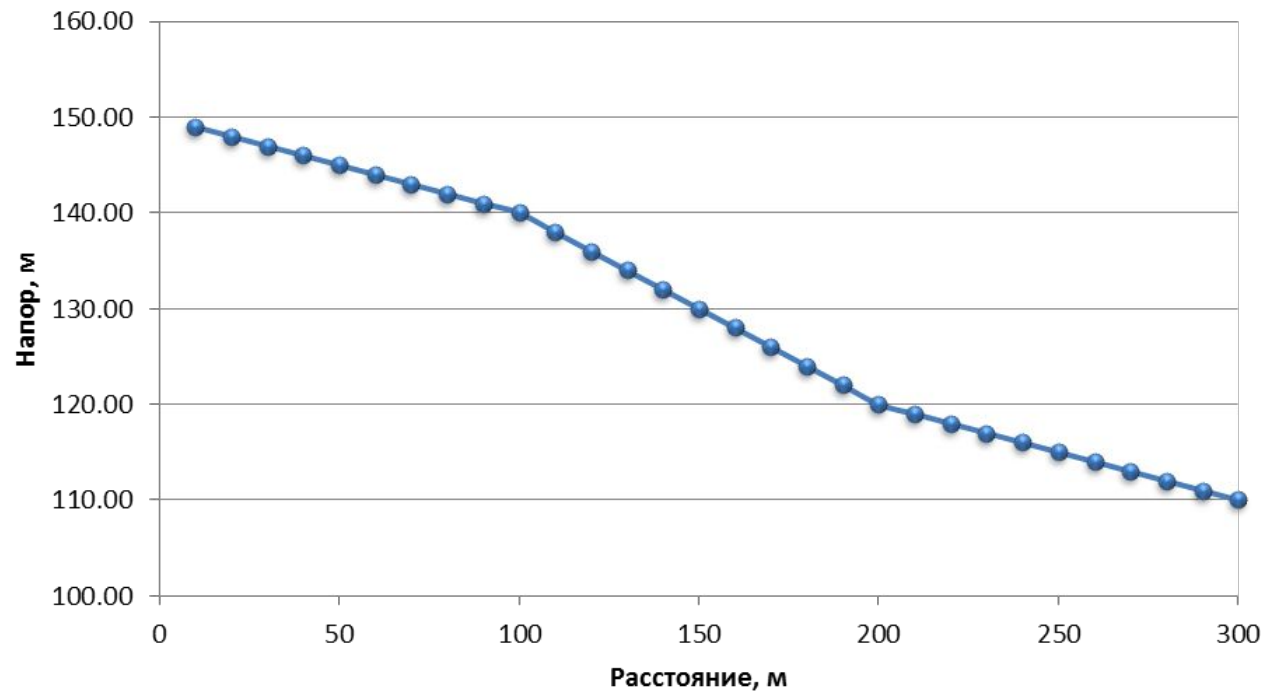
Безнапорный однородный водоносный горизонт обладает неравномерным фильтрационным потоком, как следствие депрессионная кривая в этом случае должна иметь форму выпуклой кривой с увеличивающейся по потоку кривизной, обращенной выпуклостью кверху

Пример расчёта:

График депрессионной кривой неоднородного напорного водоносного горизонта

Параметры
Неоднородного
НВГ:

L_1 100
L_2 100
L_3 100
q 0.2
k_1 3
k_2 3
k_3 3
m_1 10
m_2 5
m_3 10
H_1 150
H_2 140
H_3 120
H_4 110



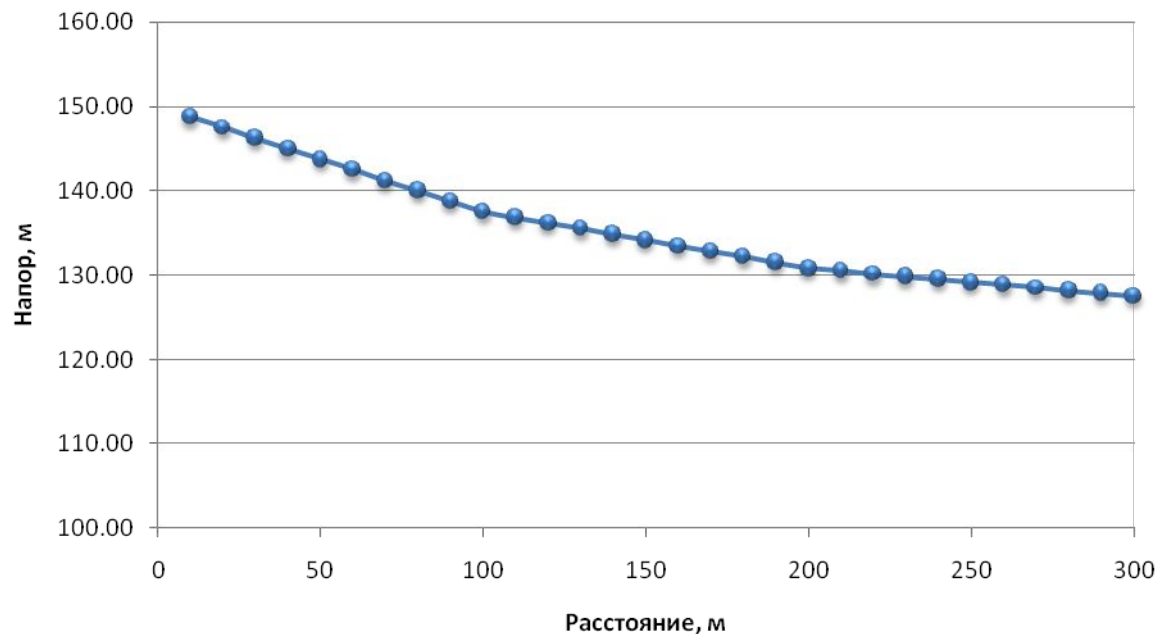
Мощность в средней части напорного водоносного горизонта уменьшается (максимальная величина гидравлического уклона в средней части потока)

Пример расчёта:

Параметры
Неоднородного
НВГ:

L_1	100
L_2	100
L_3	100
q	0.2
k_1	3
k_2	3
k_3	3
m_1	8
m_2	15
m_3	30
H_1	150
H_2	137.5
H_3	130.8
H_4	127.5

График депрессионной кривой неоднородного напорного водоносного горизонта



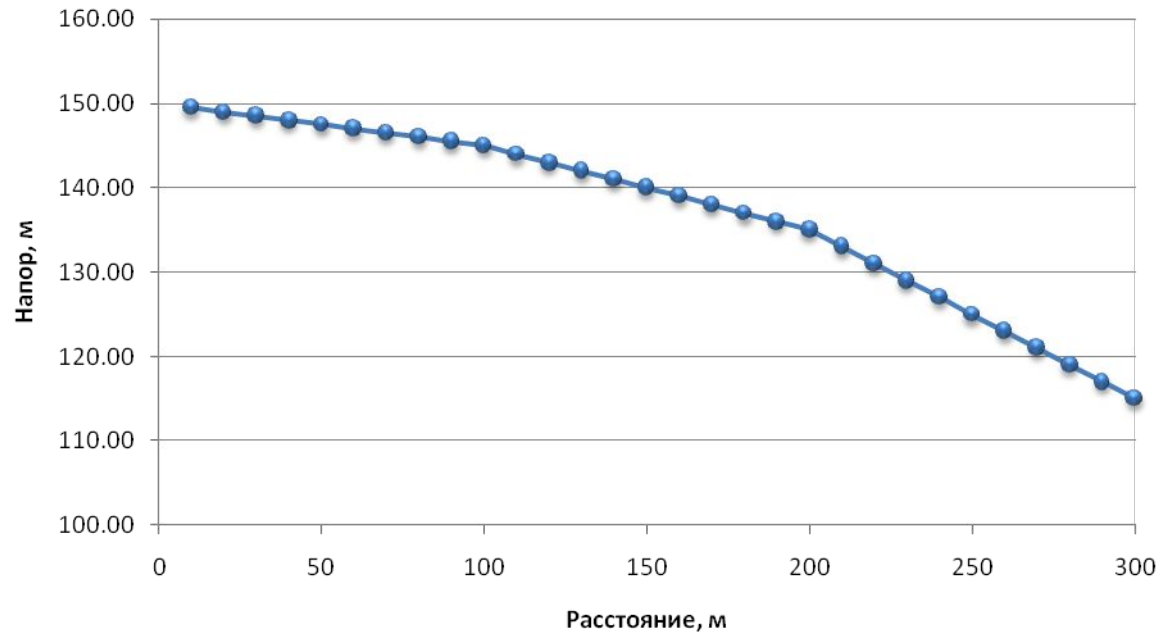
Мощность напорного водоносного горизонта увеличивается по потоку
(величина гидравлического уклона уменьшается по потоку)

Пример расчёта:

Параметры
Неоднородного
НВГ:

L_1	100
L_2	100
L_3	100
q	0.2
k_1	3
k_2	3
k_3	3
m_1	20
m_2	10
m_3	5
H_1	150
H_2	145
H_3	135
H_4	115

График депрессионной кривой неоднородного напорного водоносного горизонта



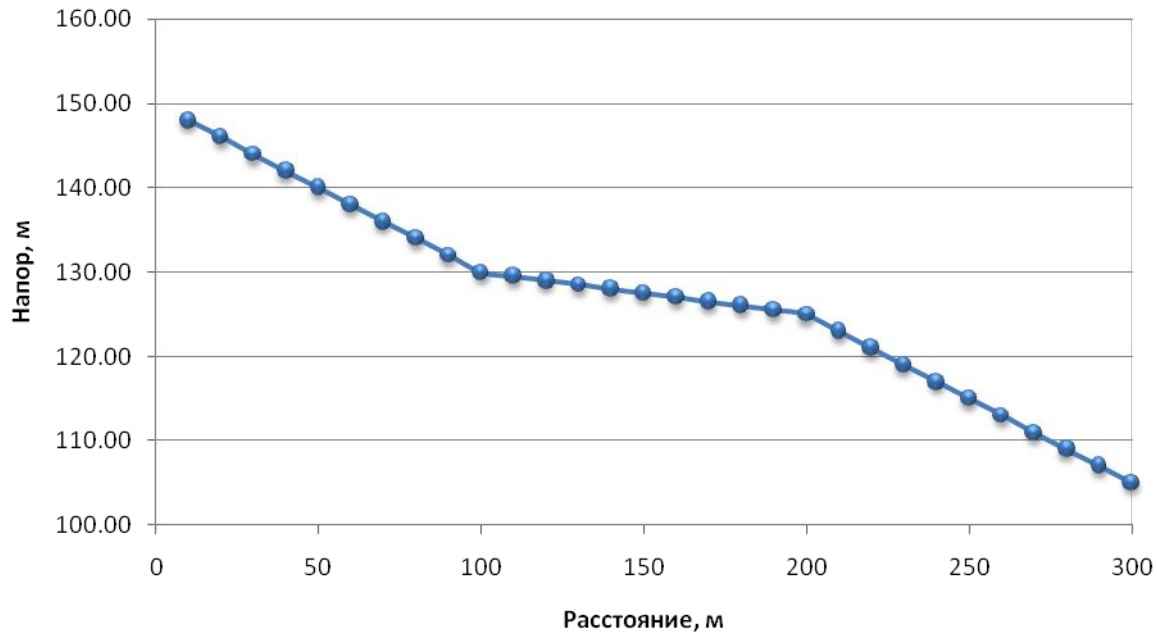
Мощность напорного водоносного горизонта уменьшается по потоку
(гидравлический уклон увеличивается по потоку)

Пример расчёта:

Параметры
Неоднородного
НВГ:

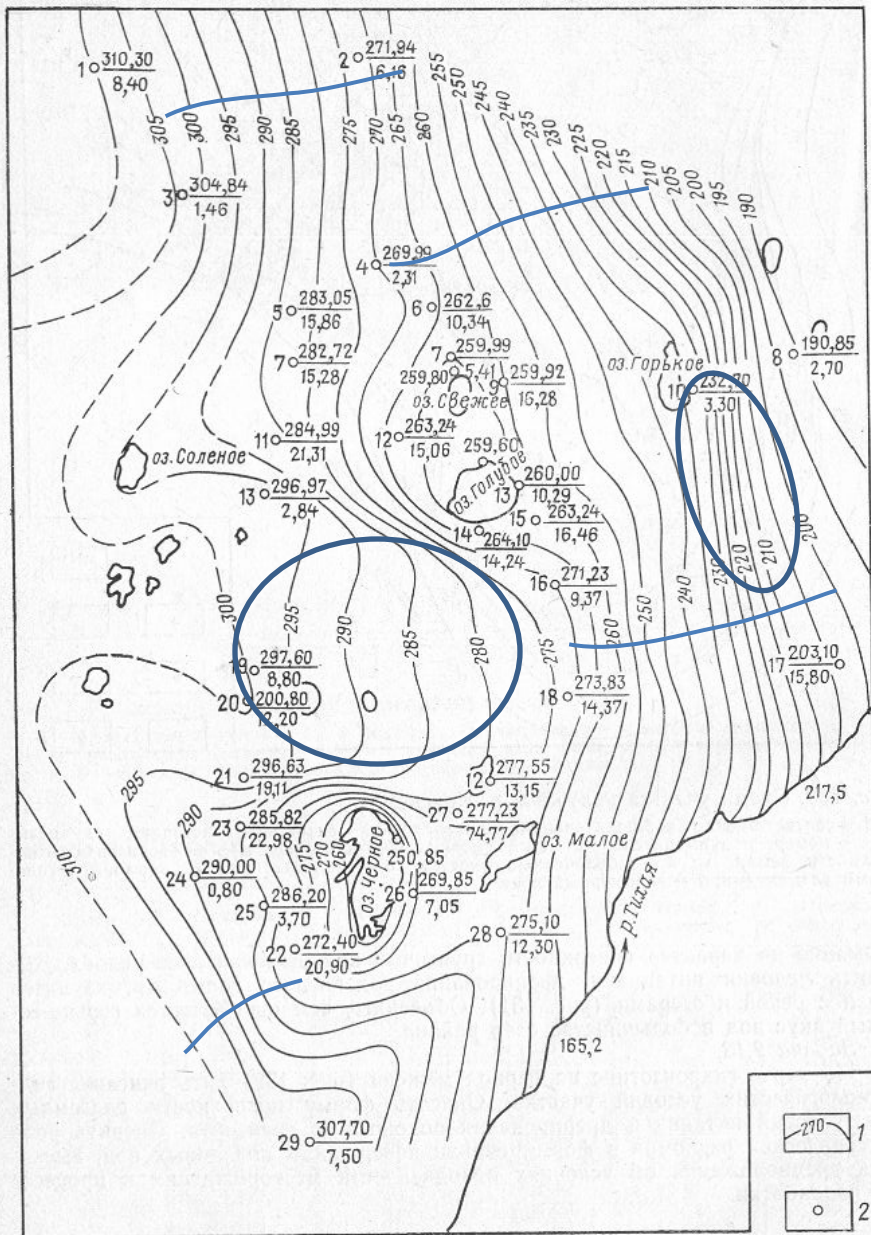
L_1	100
L_2	100
L_3	100
q	0.2
k_1	3
k_2	3
k_3	3
m_1	5
m_2	20
m_3	5
H_1	150
H_2	130
H_3	125
H_4	105

График депрессионной кривой неоднородного напорного водоносного горизонта



Мощность в средней части напорного водоносного горизонта увеличивается
(минимальная величина гидравлического уклона в средней части потока)

Естественные фильтрационные потоки



Карта гидроизогипс даёт полное представление о структуре фильтрационного потока, включая его локальные направления и скорости (на основе оценки градиентов напора)

Условные обозначения

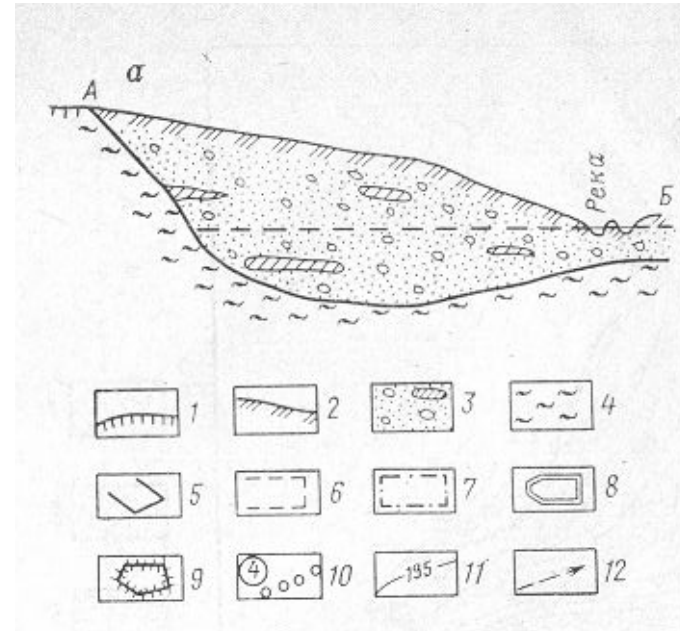
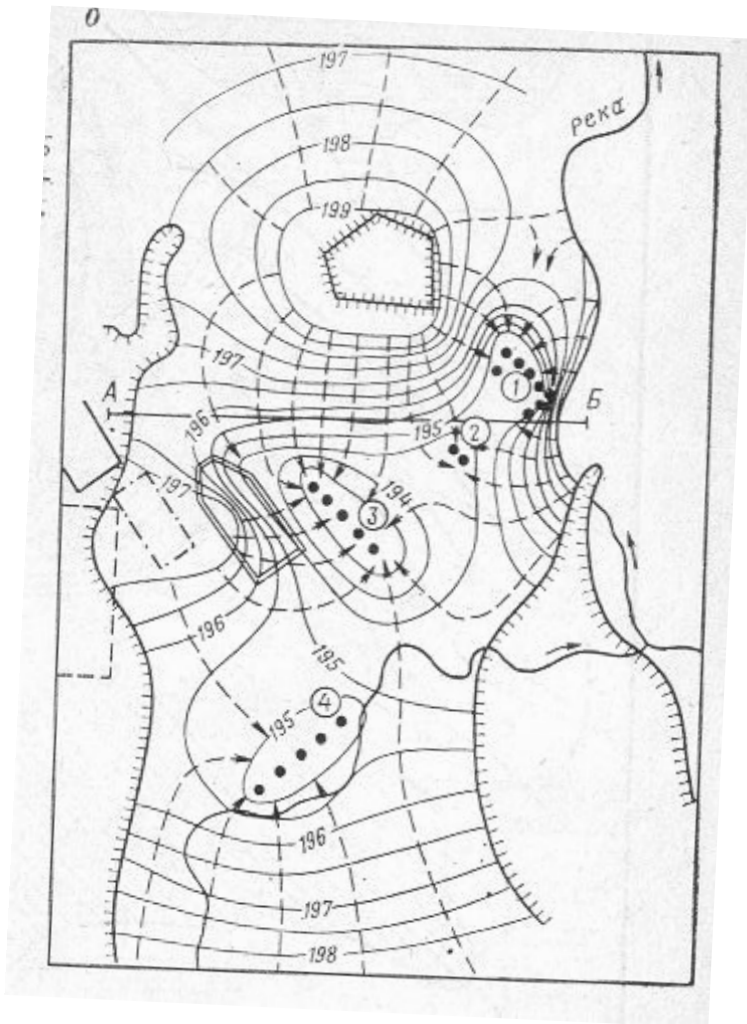
- 1- гидроизогипсы, м;
- 2-скважина (справа её номер, слева в числителе - отметка уровня грунтовых вод, м; в знаменателе - глубина до воды, м)

Гидродинамической сеткой фильтрационного потока называется совокупность взаимно ортогональных линий тока и линий равных напоров.

Гидродинамическая сетка позволяет выполнять полную количественную оценку движения подземных вод и отдельных элементов фильтрационного потока: пьезометрический напор, напорный градиент, скорость фильтрации, расход фильтрационного потока.

Естественные фильтрационные потоки

Пример гидродинамической сетки (б) и гидрогеологический разрез (а)



- 1-граница выхода коренных пород;
- 2-почвенный слой;
- 3-песчано-гравийные отложения;
- 4- относительно водоупорные породы;
- 5-шламонакопитель;
- 6-поля фильтрации;
- 7-старый шламонакопитель;
- 8-территория промышленного предприятия;
- 9-гидрозолоотвал;
- 10-водозабор подземных вод и его номер;
- 11-гидроизогипсы, м;
- 12-линии тока

Естественные фильтрационные потоки

Наличие равномерных и неравномерных потоков подземных вод в напорных и безнапорных водоносных горизонтах отражается на форме депрессионных кривых (гидрогеологические разрезы), на картах гидроизогипс и гидроизопьез.

Анализ депрессионных кривых, карт гидроизогипс и гидроизопьез позволяет судить о внутреннем строении водоносных горизонтов